

Gyenis János¹ – Tóth Judit^{1,2} – Feczko Tivadar^{1,2} – Szépvölgyi János^{1,2}¹ Pannon Egyetem MIK Műszaki Kémiai Kutatóintézet, Veszprém
gyenis@mukki.richem.hu | toth@mukki.richem.hu | feczko@mukki.richem.hu² MTA Természettudományi Kutatóközpont, Budapest
szepvolgyi.janos@tk.mta.hu

Mikrokapszulázott fázisváltó anyagok alkalmazása hőtárolásra

A megújuló energiaforrások közül a nap-sugárzásból származó hő hazánkban is viszonylag nagy mennyiségben áll rendelkezésre: az évente beérkező hőmennyiség négyzetméterenként átlagosan 4600 MJ körül van. Ez azt jelenti, hogy – például 20%-os hasznosítási hatásfok esetén – napenergiából hozzávetőleg 100 m² területen begyűjthető lenne egy családi ház éves hőigénye. Figyelembe kell azonban venni, hogy a begyűjthető hő nem egyenletes eloszlású: leginkább az évszakok és a napszakok függvényében változik, és a pillanatnyi időjárás, a felhős és napfényes időszakok váltakozása is erősen befolyásolja. Más, nem egyenletesen rendelkezésre álló energiaforrás lehet az ipari és háztartási tevékenység során képződő hulladék hő.

Különböző okok miatt ezeket a hőforrásokat ma még nem kellő mértékben használjuk ki. Az egyik legfőbb akadály abban rejlik, hogy a begyűjthető hő általában nem a megfelelő időpontban áll rendelkezésre. Ugyanakkor az ipari, mezőgazdasági és háztartási tevékenység megkívánja, hogy a szükséges hő a *megfelelő időben, kellő mennyiségben és hőmérsékleti szinten* legyen elérhető. Ehhez az aktuálisan rendelkezésre álló hőt gazdaságos módon, ésszerű időtartamig és viszonylag egyszerűen visszanyerhető formában *tárolni kell*.

Ha az energiatárolás kívánt hőmérsékleti tartományában egy anyag halmazállapota is változik, akkor – látens hő tartalmának változása miatt – fajlagosan sokkal több hőt képes tárolni, mintha csupán a hőmérséklete változna meg. A lehetséges halmazállapot-változások közül leginkább a szilárd-folyadék/folyadék-szilárd fázisátme-

net hőtartalom-változása használható ki gazdaságosan.

Az ilyen fázisváltó hőtároló anyagok (elterjedt angol rövidítéssel: PCM – Phase Change Materials) alkalmazásához számos műszaki problémát kell megoldani. Tömbösített formában ezek az anyagok a viszonylag kis fajlagos hőátadási felület, a nagy rétegvastagság és az általában nem túl jó hővezetési tényező miatt csak nagy hőmérséklet-különbség hatására vagy túlságosan lassan veszik fel és adják le a bennük tárolt hőt. Ilyen formában technológiailag és gépészetileg nehezen kezelhetők, és alkalmazásuk sok esetben nem gazdaságos. Vastagabb rétegek esetében a fázisváltó anyagok keverékei (pl. különböző sók elegyei) használatuk a fázisváltozás nem kongruens, vagyis nem egynemű módon megy végbe: részleges megolvadás vagy megdermedés során az egyes komponensek térben és időben elkülönülhetnek, ami rontja a folyamat hatásfokát, hőmérsékleti hiszterézishez vezet, és veszélyezteti a biztonságos működtetést.

A fázisváltó anyagok egy része korrozív, toxikus, éghető és tűzveszélyes, vagy káros lehet a környezetre. Az ilyen tulajdonságú fázisváltó anyagok közvetlenül nem érintkezhetnek a technológiai környezetükkel, és nem kerülhetnek ki a szabadba. Erre megfelelő megoldást jelent az anyagok kapszulázása. Mikrokapszulázás esetén a hőtároló anyagot néhány mikrométertől néhány száz mikrométerig terjedő méretű kapszulákba zárjuk, melyek biztosítják a hőtároló anyagok könnyebb technológiai kezelhetőségét is.

Mikrokapszulázott fázisváltó anyagok

alkalmazásával – a nagy fajlagos hőátadó felület és kis hővezetési távolság miatt – viszonylag kis hőmérséklet-különbség esetén is gyors és egyenletes hőátadás érhető el a hőtároló anyag és környezete között. A mikrokapszulák kis térfogata elkerülhetővé teszi a bezárt anyag szegregációját és nem kongruens fázisváltozását. A kapszulafal megakadályozza, hogy az anyag kikerüljön a környezetbe, és korróziós vagy egyéb problémákat okozzon.

Mikrokapszulázott hőtároló anyagok kifejlesztésére és alkalmazására intenzív kutatások folynak világszerte [1–3]. Magyarországon ezen a területen eddig csupán néhány alapkutatás jellegű munka vagy korlátozott hatókörű alkalmazástechnikai vizsgálat folyt, melyek nem terjedtek ki ezen anyagok fejlesztésére és mikrokapszulázására. A Pannon Egyetem MIK Műszaki Kémiai Kutatóintézete és az MTA TTK Anyag- és Környezetkémiai Intézete által közösen működtetett veszprémi Funkcionális Nanorészecskék Kutatócsoport néhány éve megkezdett ez irányú kutatásait ezért hiánypótló jellegűek, és elősegíthetik a fázisváltó hőtároló anyagok hazai alkalmazásait.

Látens hő tárolására alkalmas anyagok

A látens hő tároló anyagok esetében a hőtartalom-változás elsősorban a fázisváltozás következménye. Ezáltal adott tömegű vagy térfogatú anyagban lényegesen nagyobb mennyiségű hő tárolható a csak érzékelhető hőtartalom-változást elszenvedő anyagokhoz képest. A nagyobb fajlagos hő-



kapacitás kevesebb hőtároló anyagot igényel, ami a berendezések méretét is csökkenti, és kisebb beruházási költséget jelent. A fázisváltó anyagok nagy előnye, hogy hő betárolásakor és kiürítésekor elvileg nincs szükség a hőtároló közeg hőmérséklet-változására, mivel a fázisváltozás az olvadáspontnak megfelelő hőmérsékleten történik. A gyakorlatban alkalmazott anyagok sok esetben nem egy adott hőmérsékleten, hanem bizonyos hőmérséklet-tartományban olvadnak vagy dermednek meg, bár ez gyakran csak néhány fokos hőmérséklet-változást jelent. Ez azt jelenti, hogy látenshőtartalom-változás esetén az energia betárolása nem okoz nagy hőmérséklet-növekedést a hőtároló anyagban, és a hő viszszerérésekor sem történik nagyobb mértékű lehűlés. Ez a felhasználás szempontjából és a hőcsere feltételeit tekintve is előnyösebb, mivel a hőátadás jobb hatásfokkal és kisebb hőcserélő felülettel hajtható végre.

A fázisváltó hőtároló anyagok hátránya, hogy ezek általában drágábbak az érzékelhető hő tároló anyagoknál, és a rendszer technikai megvalósítása is bonyolultabb. Ezért ezeket általában csak kisebb tömegű, rövid távú hőtárolókhoz használják.

A látens hő tároló anyagok a szokásos hőmérséklet-szinteket figyelembe véve elsősorban olyan szerves vegyületek közül kerülnek ki, mint a paraffin szénhidrogének, zsírsavak, zsíralkoholok vagy ezek halogénezett származékai. A szerves anyagok közül különböző sók, sókeverékek, sóhidrátok, eutektikumok jönnek szóba. Az érzékelhető hő és látens hő tároló anya-

gok összehasonlítását szolgálja az **1. ábra**. A kétfajta hőtárolási mód közötti választást többek között az határozza meg, hogy a hő betárolása és felhasználása során milyen széles hőmérséklet-változás engedhető meg. Az ábrán látható, hogy a csak érzékelhető hő tárolására használt anyagok (például víz) esetén az egységnyi tömegben tárolható hőmennyiség (kJ/kg) növekedése közel arányos a hőmérséklet-változással. A látens hő tárolására használt anyagok (például paraffin) esetében a fázisváltozás tartománya alatt és felett szintén közel lineáris összefüggés áll fenn, de fázisváltozáskor ugrásszerű hőtartalom-változás következik be, a fajlagos olvadáshő vagy dermedéshő nagyságától függően.

Abban az esetben, amikor a folyamat során nagy hőmérséklet-változás engedhető meg, a csupán érzékelhető hő tároló anyagokban is jelentős mennyiségű energia tárolható: például 100 °C hőmérséklet-változás esetében a folyadékállapotú vízben közel akkora hőtartalom-változás történik (mintegy 420 kJ/kg), mint a fázisváltozást is elszenvedő paraffinban (kb. 430 kJ/kg). Ha azonban a felhasználás korlátai miatt csak 20 °C hőmérséklet-változás engedhető meg (például 40 és 60 °C között), akkor a víz csak 83,5 kJ/kg, míg a paraffin közel 230 kJ/kg hőmennyiség tárolására alkalmas.

A felhasználási céloknak megfelelő hőmérséklet-szinteket tekintve sokféle, látens hő tárolására alkalmas anyag létezik. Légkondicionáló vagy temperáló rendszerekben szobahőmérséklet körüli vagy alatti tartományban (0–25 °C) olvadó fázisváltó

anyagokat használnak. Épületek fűtésére, melegvíz-ellátásra 60–80 °C között, technológiai rendszerek (pl. szárítóberendezések) fűtésére jóval nagyobb, pl. 120 °C körüli hőmérsékleten olvadó anyagokat használnak. Vannak olyan fázisváltó anyagok is, melyek a víz fagyáspontja alatt (sóoldatok), vagy akár több száz Celsius-fokos hőmérsékleten (bizonyos sóolvadékok, fémek, fémötvözetek) alkalmazhatók.

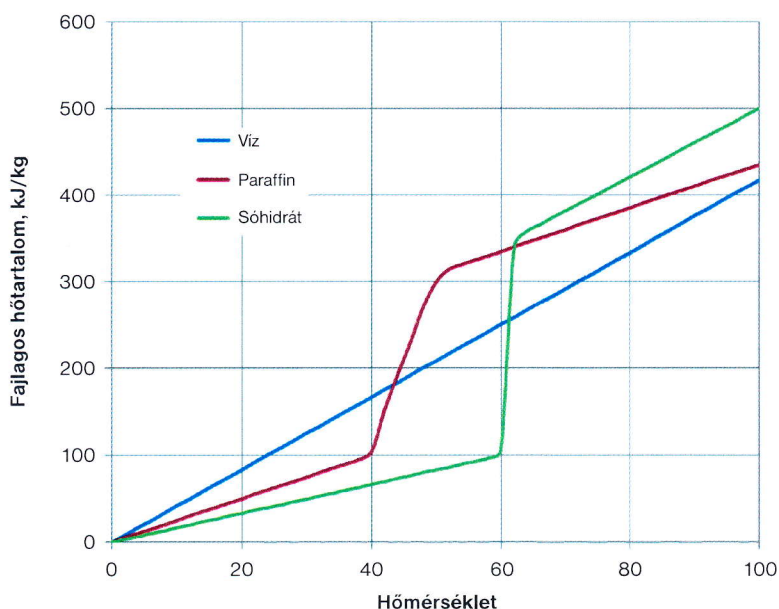
A fázisváltó anyagokat először egybe-függő tömbök formájában (tartályokba töltve) alkalmazták, ami több szempontból sem előnyös. Tömbfázisban – különösen a megdermedés után – a hőtároló anyag rossz hővezetése és kis fajlagos felülete miatt a hőátadási folyamat lassú, így a hő betárolása és kiürítése hosszú idő alatt vagy nagy hőmérséklet-különbség hatására megy végbe. A hőátadási felület és a hővezetés különböző megoldásokkal növelhető. Javíthat a helyzetet, ha a fázisváltó anyagot jó hővezető képességű anyag porusaiban helyezzük el, vagy a hőtároló anyag belsejében fémhálót, rudakat vagy lamellákat helyezünk el, aminek révén csökkenthető a hővezetési távolság és növelhető a hőátadó felület. Az ilyen kialakítás esetében is jelentkezhet a hátrányok egy része: sókeverékek és sóhidrátok esetében a fázisváltozás inkongruenssé válhat, a hőtároló anyag szételegyedhet, vagy részben elvesztheti kristályvíz-tartalmát.

Ha azonban a hőtároló anyagot kisebb térfogatokra osztjuk szét, például szemcsézett formájában alkalmazzuk, akkor ezek a nehézségek nagyrészt elkerülhetők. Minden esetben követelmény, hogy a hőtároló anyagot el kell határolni attól a közegtől, ahonnan a hő fel kell vennie, vagy ahová le kell adnia. Erre jó megoldást kínál a hőtároló anyagok kapszulázása.

Gyakran alkalmazott megoldás, hogy a hőtároló anyagot lapos fémkazettákba vagy műanyag tasakokba, gömbökbe zárják. Ilyen kapszulákat használnak például hőérzékeny anyagok szállításakor (jégakku) vagy légkondicionáló rendszerek tartályaiban, a „hidegenergia” átmeneti tárolására. Ezeket a **2. ábrán** is látható formákat *makrokapszulázott PCM anyagoknak* nevezik.

A fajlagos hőátadó felület tovább növelhető és a hővezetés úthossza csökkenthető az anyagok *mikrokapszulázásával*. Ez még inkább kiküszöböli a hőtároló anyag szételegyedését és nem kongruens fázisváltozását. Mikrokapszulákból nemcsak *fix* ágyas, hanem *mozgó töltetek* is kialakíthatók, ami a hőátadás szempontjából még előnyösebb lehet. A mikrokapszulázott fázisváltó anyagok jellemző mérete néhány mikrontól né-

1. ábra. Érzékelhető és látens hő tároló anyagok fajlagos hőtartalmának változása a hőmérséklet-változás során (Heinz és Streicher nyomán [4])





2. ábra. Makrokapszulázott fázisváltó anyagok (PCM Products Ltd. [5])

hány száz mikronig terjed. Átmenetet képeznek a makro- és mikrokapszulák között a néhány milliméteres kapszulák.

Mikrokapszulázott fázisváltó hőtároló anyagok

Mag-héj szerkezetű PCM mikrokapszulák elvi felépítését mutatja a 3. ábra: a hőtároló anyag a kapszula magjában helyezkedik el, amit egy zárt bevonat választ el a környezetétől. A kapszula héja többnyire valamilyen szerves polimer, bár néhány esetben előállítottak már SiO_2 bázisú bevonatot is. Használhatnak *többmagvú kapszulákat* vagy zárványok sokaságát tartalmazó, *mátrixszerkezetű* részecskéket is. A mag-héj szerkezet előnye, hogy ezekben a hőtároló anyag tömegaránya – és ennek megfelelően a fajlagos hőtároló képessége – általában nagyobb. A mátrixszerkezet előnye lehet a jobb mechanikai és termikus stabilitás, bár ezek a tulajdonságok a felhasznált anyagoktól és módszerektől, végső soron a bevonat tulajdonságaitól függenek.

PCM mikrokapszulák előállítására szinte bármelyik szerves fázisváltó hőtároló

anyag alkalmas. Szervetlen anyagok, sók vagy sóhidrátok mikrokapszulázására is találunk példát [7], de megfelelő mechanikai és termikus stabilitású, hosszú időn át megbízhatóan működő terméket igen nehéz előállítani. Ennek elsődleges oka, hogy vízmolekulák diffúziója a kapszula falán keresztül megváltoztathatja a bezárt sóhidrát összetételét. Víz bediffundálásakor a kapszula belsejében az ozmotikus nyomás nagymértékben megnő, ami a kapszulahéj felrepedését okozza. Az előállítás során a szervetlen kapszulamag és a polimer bevonat esetleges összeférhetlensége is gondot jelenthet.

Kapszulázó anyag céljára sokféle polimer alkalmas: különböző *szintetikus polimerek*, mint például a metakrilátok, a fenol-formaldehid, karbamid-formaldehid és polikarbamid gyanták. *Térszertelen eredetű polimereket* (zselatin, gumiarábikum) is használtak már bevonásra, de ipari alkalmazásukra nem találtunk példát. A kapszulázó anyaggal szembeni alapkövetelmény a kémiai stabilitás, a mechanikai és termikus stressztűrő képesség, valamint kompatibilitás a bezárandó hőtároló anyaggal és mindazokkal az anyagokkal (hőközvetítő folyadék, szerkezeti anyagok), melyekkel felhasználás közben a mikrokapszuláknak érintkezniük kell.

Alkalmazási célok és lehetőségek

A mikrokapszulázott fázisváltó hőtároló anyagokat alapvetően kétfajta célra alkalmazzák: *termikus csillapításra* vagy *hő átmeneti tárolására*. A hőingadozás csillapítása egy adott objektumban a termikus tehetetlenség (azaz a termikus tömeg) növelésével valósul meg, és annak túlmelegedés vagy túlhűlés elleni védelmét szolgálja. Ilyen esetekben a PCM mikrokapszulákat általában befoglalják az adott objektumba vagy annak burkolatába, például épületek szerkezeti elemeibe, gépek, járművek, űrhajók, elektronikai egységek hővédő rendszerébe, sport- és védőruházatokba. Ha például könnyűszerkezetes épületek falába, padlójátába, mennyezetébe

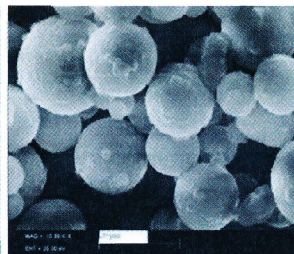
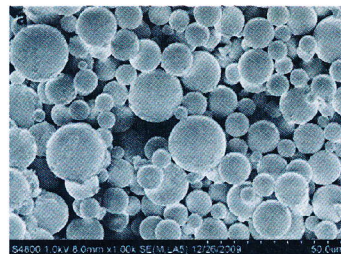
hőtároló mikrokapszulákat integrálunk, akkor a szerkezetek megnövelt hőkapacitása szűk hőmérséklet-sávban stabilizálja a belső hőmérsékletet. Ezzel kivédhető, hogy a külső hőmérséklet ingadozása jelentősebb hatást gyakoroljon a belső tér hőmérsékletére. Cabeza és munkatársai kísérletileg igazolták, hogy mikrokapszulázott hőtároló anyag jelenléte gyakorlatilag nem csökkenti az építőelemek mechanikai szilárdságát [8, 9].

A hőtároló mikrokapszulák alkalmazásának másik területe a *termikus energia átmeneti tárolása*, ami fontos szerepet kaphat például a naphő hasznosításában. Az építőelemekbe integrált hőtároló anyagokkal ellentétben itt a PCM mikrokapszulákat általában különállóan alkalmazzák, például álló vagy fluid ágyas vagy mozgó töltetek formájában. Megfelelő áramlási viszonyokkal a hőtároló mikrokapszulák és a hőközvetítő fluidum közötti hőátadás hatékonyabbá tehető. Zagy formájában alkalmazott mikrokapszulák esetén a hőtároló és hőközvetítő közeg azonos lehet, egyidejűleg betöltve a hőtárolás és a hőtovábbítás szerepét.

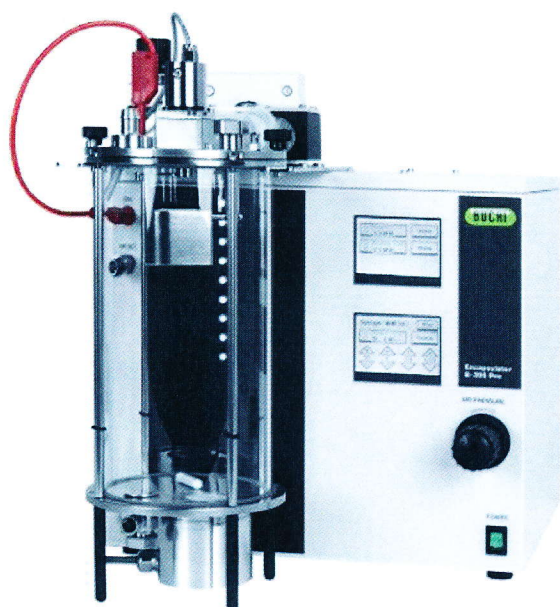
Hőtároló zagyok esetében a mikrokapszulákat folyadékban – általában vízben – szuszpendálják. A szuszpenzió stabilitása érdekében a kapszulák mérete nem lehet túl nagy (néhány mikrontól néhány tíz mikronig terjedhet), de bizonyos mennyiségű felületaktív szer használata is szükséges lehet, ami esetleg megengedi a részecskeméret bizonyos mértékű növelését is. A 4. ábrán olyan PCM mikrokapszulák láthatók, melyekből szivattyúzható hőtároló zagy készíthető [10, 11].

Mikrokapszulázott fázisváltó hőtároló anyagokból készült zagyok jól használhatók lakóterek vagy egyéb helyiségek nap-sugárzásból származó hővel történő fűtésére vagy csúcsidezőszenken kívüli árammal működtetett légkondicionálására. Egy tanulmányban Zhang és Niu olyan légkondicionáló rendszert vizsgáltak, ahol a „hideg-energia” tárolására és annak a felhasználás helyére történő eljuttatására különálló folyadékköröket használtak [12]. Hasonló

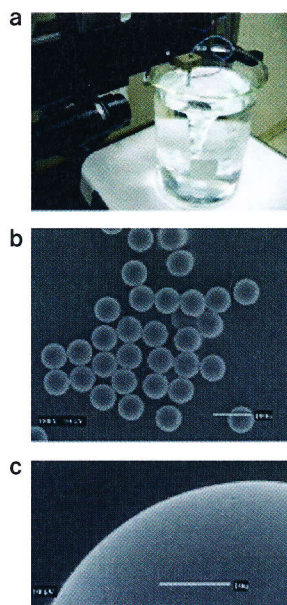
3. ábra. Mag-héj szerkezetű PCM mikrokapszula szerkezete (PhaseEnergy Ltd. [6])



4. ábra. PCM zagyokban alkalmazható mikrokapszulák [10, 11]



5. ábra. Büchi B-390 kapszulázó berendezés (balra) a megszilárdítást végző oldattal (jobbra fent) és a képződött mikrokapszulák (jobbra középen és lent)



megoldással tárolható például egy napkollektorban felmelegített hőközlő folyadék hőtartalma is.

Mikrokapszulázott fázisváltó hőtároló anyagok fejlesztésére és hasznosítására egyre intenzívebb alkalmazástechnikai kutatások folynak világszerte. Ezek főként a PCM zaggyok hőtechnikai tulajdonságai, elsősorban a hőátadási tényezők és az áramlási körülmények közötti összefüggések megismerésére irányulnak.

Diaconu és munkatársai [13] mikrokapszulázott PCM zaggyal (Rubitherm RT6) töltött tartályban vizsgálták a hőátadási viszonyokat természetes konvekciós áramlás esetén. Megállapították, hogy a hőtároló anyag fázisváltozása közben a hőátadási tényező a hőmérsékleti viszonyoktól függően akár ötszörösére is növekedhet. Wang és munkatársai [14] megállapították, hogy lamináris áramlás esetén a PCM zaggyal mért hőátadási tényezők a fázisváltozás tartományában jelentősen magasabbak voltak az egyfázisú folyadékaránál mért értékeknél.

Mikrokapszulázott PCM anyagok előállítása

PCM mikrokapszulák előállítására sokféle módszer áll rendelkezésre az alkalmazott anyagi rendszerek, a kapszulák kívánt mérettartománya, alkalmazásuk körülményei és a velük szemben támasztott technológiai követelményektől függően [15,16]. Ezek alapvetően két kategóriába, a fizikai és a kémiai módszerek csoportjába sorolhatók.

A tisztán fizikai módszerek esetében a

kapszulamagokat és bevonatukat a felhasznált anyagok kémiai minőségének megváltoztatása nélkül alakítják ki. Kapszulamagok előállíthatók például *porlasztva szárítással* vagy *porlasztva dermesztéssel*, ahol a fázisváltó anyag oldatából vagy olvadékából apró folyadékcseppeket hozunk létre, majd azokat valamilyen módszerrel (például az oldószer elpárolgatásával, vagy a cseppek lehűtésével) megszilárdítjuk.

Hatékony eljárás a csepegtetési (prilling) módszer, aminek speciális megvalósítása a Büchi cég B-390 jelű kapszulázó gépe (5. ábra), ahol a folyadéksugár egy nagy frekvenciával (pl. 1000 Hz) rezegtetett fúvókán keresztül jut ki a szabadba, és közel azonos méretű cseppekre szakad szét, melyeket például ionos gélképzéssel megszilárdítunk, majd bevonunk. Koncentrikus elrendezésű kettős fúvóka is alkalmazható, ahol a belső fúvókán a mikrokapszula magját képező folyadékot vezetjük ki, míg a külső, gyűrű alakú fúvókán keresztül a bevonat anyaga lép ki. Az így kapott koncentrikus felépítésű cseppeket

megszilárdítva mag-héj szerkezetű kapszulákat kapunk.

A fizikai módszerekkel előállított kapszulamagok külön lépésben is bevonhatók, amihez kémiai módszereket is lehet használni. A kémiai módszerek alkalmazása során a magokat szilárd részecskék vagy cseppek formájában visszük be a bevonatot létrehozó rendszerbe, ahol a bevonat anyagát például *fázisszeperációval* választjuk le azok felületére, majd *polimerizációval* vagy *keresztkeztetések* létrehozásával megszilárdítjuk. A kémiai módszerek közül az *in situ* polimerizációt vagy a *határfelületi polimerizációt* tartják a legjobbnak a bevonat kitűnő tulajdonságai és az elérhető kisebb kapszulaméret miatt.

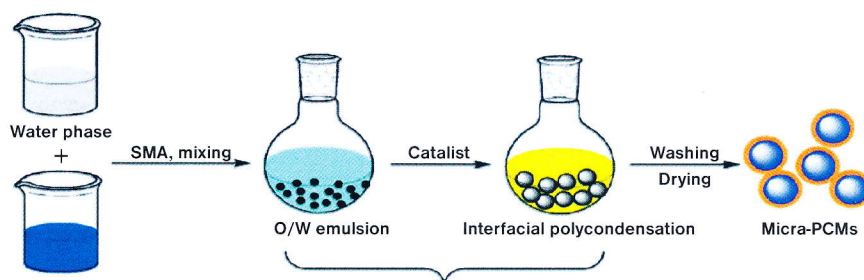
A mikrokapszulázási módszereket az alkalmazott fázisrendszerek szerint is csoportosíthatjuk:

Folyadékfázisú kapszulázási módszerek

Idetartoznak az *emulziós technikák*, a *szuszpenziós polimerizációs* és *koacervációs* módszerek. Utóbbi esetben például a bevonandó hőtároló anyag kis részecskéit por vagy apró kristályok formájában egy arra alkalmas folyadékban szuszpenzióba viszik, és a folyadékban oldott vagy kolloid állapotban lévő kapszulázó polimert megfelelő módon (pl. kicsapással vagy fázisszeperáció révén) leválasztjuk a szuszpendált részecskék felületére.

Zhang és Wang határfelületi polikondenzációt alkalmaztak oktadekántartalmú mikrokapszulák előállítására [17]. A módszer vázlata a 6. ábrán látható, ahol először olaj a vízben (O/W) típusú emulziót hoztak létre, majd a cseppek határfelületén hozták létre a polimer bevonatot. Hawlader [18], valamint Bayés-García [3] és munkatársai paraffin szénhidrogéneket mikrokapszuláltak komplex koacervációval. A gumiarábikum, illetve zselatinbevonat erősítésére formaldehid és glutaraldehid alkalmazásával kémiai keresztkeztéseket hoztak létre.

6. ábra. PCM mikrokapszulák előállítására alkalmas emulziós-polikondenzációs módszer sémája [17]





Gáz–folyadék fázisrendszerben végbemenő előállítási módszerek

Ide sorolhatók a porlasztásos-elpárolgatásos módszerek (porlasztva szárítás) vagy a porlasztva dermedés. Ezek lényege, hogy a hőtároló anyagot tartalmazó diszperziót vagy szuszpenziót finom cseppekké bontva porlasztják be egy meleg levegős szárítókamrába. A bevonó anyag az oldószer elpárolgatása során válik rá a hőtároló anyag részecskéinek felületére. A bevonat tulajdonságai utólagos kezeléssel (kereszt-kötések létrehozásával, polimerizációval) javíthatók.

Fluidizációs-porlasztásos bevonás

A módszer lényege, hogy a szilárd halmazállapotú hőtároló anyag szemcséit gázárammal vagy egyéb módon intenzív mozgásban tartjuk, és a bevonó anyag oldatát vagy olvadékát finom cseppek formájában a rétegbe porlasztjuk. Az oldószer elpárolgása vagy az olvadék megdermedése révén a részecskék felületén szilárd bevonat keletkezik. A módszerrel viszonylag nagyobb méretű kapszulák állíthatók elő.

A mikrokapszulázott fázisváltó anyagok vizsgálati módszerei

A mikrokapszulázott fázisváltó anyagok jellemzőinek és funkcionális tulajdonságainak vizsgálatára különféle kémiai és fizikai módszereket használnak. Ezek között a tulajdonságok között a legfontosabbak: a mag és a bevonat anyaga, összetétele, tömegaránya, a kémiai és termikus stabilitás, morfológiai jellemzők, valamint a termikus tulajdonságok (olvadáspont, dermedéspont, fajlagos hőkapacitás). Fontos követelmény a bevonat tömörsége: a kapszulahéj nem lehet permeábilis, azaz vízpárát vagy folyadékot átengedő. Vizsgálati módszerek: hagyományos vagy műszeres kémiai analízis, elektronmikroszkópia (SEM, TEM), valamint DSC és TG módszerek a termikus jellemzők és stabilitás mérésére. Az alkalmazástechnikai vizsgálatokat általában laboratóriumi vagy félüzemi lépékű hőcserélő rendszerekben végzik.

Kereskedelembe kapható mikrokapszulázott PCM anyagok

A mikrokapszulázott fázisváltó anyagok nagy hányadát épületszerkezeti elemekbe integrálva vagy textíliákba ágyazva hozzák forgalomba, termikus csillapítás vagy termikus védelem céljából. Energetikai felhasználású, vagyis hőtárolásra vagy hőközlítésre szánt mikrokapszulák ipari előállítása és felhasználása ma még korlátozott, részben kísérleti stádiumban lévő termék. Fontosabb gyártók: Rubitherm (Németország), BASF (Németország), Microtec Laboratories Inc. (USA), EPS Ltd. (UK).

Hazai kutatások PCM anyagok mikrokapszulázására

A Pannon Egyetem MIK Műszaki Kémiai Kutatóintézete és az MTA TTK Anyag- és Környezetkémiai Intézete közös munkatételű kutatócsoportjában mikrokapszulázott hőtároló anyagok előállítására alkalmas módszerek fejlesztése folyik két TÁMOP projekt keretében. Az egyik vizsgált emulziós – oldószer-elpárolgatásos technikával n-hexadékan hőtároló anyag kapszulázását sikerült megoldani etil-cellulóz és polimetil-metakrilát keverékével. Itt az alkalmazott anyagi rendszertől és körülményektől függően többmagvú vagy mag-héj szerkezetű mikrokapszulák keletkeznek. Vizsgálják az ionos gélképzéssel kombinált csepegtetési módszer alkalmazhatóságát mag-héj szerkezetű kapszulák előállítására. Utóbbi esetben egy viszonylag magas olvadáspontú ipari paraffin a fázisváltó anyag, a bevonat pedig speciális térhálóítással javított kalcium-alginát-réteg.



KÖSZÖNETNYILVÁNTÁS

A szerzők köszönetet mondanak a TÁMOP-4.2.2.A-11/I/KONV-2012-0072 azonosítójú, az „Energia ellátó és hasznosító rendszerek korszerűsítésének és hatékonyabb üzemeltetésének tervezése és optimalizálása megújuló energiaforrások és infokommunikációs technológiák felhasználásával” című, valamint a TÁMOP-4.1.1.C-12/I/KONV-2012-0017 azonosítójú, a „Zöld Energia – Felsőoktatási ágazati együttműködés a zöld gazdaság fejlesztésére az energetika területén” című projektek támogatásáért.

IRODALOM

- [1] Bal L. M., Satya S., Naik S. N., *Renew Sust Energ Rev.* (2010) 14, 2298–2314.
- [2] Cabeza L. F., Castell A., Barreneche C., de Gracia A., Fernandez A.I., *Renew Sust Energ Rev.* (2011) 15, 1675–1695.
- [3] Bayes-Garcia L., Ventola L., Cordobilla R., Benages R., Calvet T., Cuevas-Diarte M. A., *Sol Energ Mat Sol C.* (2010) 94, 1235–1240.
- [4] https://talon.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/FINAL_PAPERS/8B-4.pdf (2014. június)
- [5] <http://www.pcmproducts.net/home.htm> (2014. június)
- [6] http://www.phase-energy.com/PCM_Technology.htm, (2014. június)
- [7] <http://www.salcbv.com/index.asp?CategorieID=1&Taal=EN>, (2014. június)
- [8] Cabeza L.F., Castellon C., Nogues M., Medrano M., Leppers R., Zubillaga O., *Energy Build* (2007) 39, 113–119.
- [9] Schossig P., Henning H.-M., Gschwander S., Haussmann T., *Sol Energ Mat Sol C* (2005) 89, 297–306.
- [10] Li W., Song G., Tang G., Chu X., Ma S., Liu C., *Energy* (2011) 36, 785–791.
- [11] Wang X., Niu J., van Paassen A. H. C., *Energy Build* (2008) 40, 1691–1698.
- [12] Zhang S., Niu J., *Sol Energ Mat Sol C* (2010) 94, 1038–1048.
- [13] Diaconu B. M., Varga Sz., Oliveira A. C., *Applied Energy* (2010) 87, 620–628.
- [14] Wang X., Niu J., Li Y., Wang X., Chen B., Zeng R., Song Q., Zhang Y., *Int J Heat Mass Tran* (2007) 50, 2480–2491.
- [15] Salunkhe P. B., Shembekar P. S., *Renew Sust Energ Rev* (2012) 16, 5603–5616.
- [16] Jin Z., Wang Y., Liu J., Yang Z., *Polymer* (2008) 49, 2903–2910.
- [17] Zhang H., Wang X., *Sol Energ Mat Sol C* (2009) 93, 1366–1376.
- [18] Hawlader M. N. A., Uddin M. S., Khin M. M., *Appl Energ* (2003) 74, 195–202.

ÖSSZEFOGLALÁS

Gyenis János, Tóth Judit, Feczko Tivadar, Szépvölgyi János: **Mikrokapszulázott fázisváltó anyagok alkalmazása hőtárolásra**

A megújuló energiaforrások, így a napsugárzásból származó hőenergia hasznosítását nagymértékben nehezíti, hogy az aktuálisan begyűjtendő hőteljesítmény és a pillanatnyi hőigény között sok esetben időbeli eltérés áll fenn. Ezek összehangolásához a hő rövid távú, átmeneti tárolására van szükség. A mikrokapszulázott fázisváltó hőtároló anyagok jó lehetőséget kínálnak ennek gazdaságos és hatékony megvalósítására. A szerzők áttekintést adnak a látens hő tárolásra alkalmas mikrokapszulák fontosabb jellegzetességeiről, az előállítási módszerekről és felhasználási lehetőségekről.

Előfizetés a Magyar Kémiai Folyóirat 2015. évi számaira

A Magyar Kémiai Folyóirat 2015. évi díja fizető egyesületi tagjaink számára 1400 Ft. Kérjük, hogy az előfizetési díjat a tagdíjjal együtt szíveskedjenek befizetni. Lehetőség van átutalással rendezni az előfizetést a Titkárság által küldött számla ellenében. Kérjük, jelezzék az erre vonatkozó igényüket!

Köszönjük mindazoknak, akik 2014-ben kettős előfizetéssel hozzájárultak a határon túli magyar kémikusoknak küldött Folyóirat terjesztési költségeihez. Kérjük, aki teheti, 2015-ben is csatlakozzon a kettős előfizetés akcióhoz.

MKE Titkárság